Sisteme de Prelucrare Grafică

Curs nr. 6

3.5 Sistemul de vizualizare standard

Imaginea generată pe un monitor sau proiectată pe un proiector poate acoperi un câmp de vizualizare tipic de 35-45" vertical-orizontal. În cazul unor câmpuri mai mari se folosesc imagini multicanal, în care fiecare canal reprezintă un volum de vizualizare care se proiectează în fereastra de vizualizare a acestuia. (Mai multe canale de imagine, care generează imagini pe monitoare juxtapuse, permit obţinerea unor câmpuri extinse în sistemele de realitate virtuală imagine).

Pentru generarea imaginilor multicanal se utilizează un sistem de vizualizare care permite definirea tuturor parametrilor necesari pentru generarea simultană a mai multor ferestre de vizualizare. Un astfel de sistem este cel definit în standardele GKS şi PHIGS.

În sistemul de vizualizare standard PHIGS sistemul de referinţă de observare VRC (View Reference Coordinate) este definit de punctul de observare VRP (View Reference Point), iar centrul de proiecţie este definit de VRP şi este specificat prin punctul PRP (Projection Reference Point).

Planul de vizualizare (de proiecţie) nu este neapărat 1 pe linia care uneşte centrul de proiecţie cu centrul ferestrei de vizualizare, permiţând realizarea proiecţiilor oblice.

Sistemul de vizualizare PHIGS se specifică în trei etape:

- definirea sistemului de observare
- definirea transformatei de normalizare
- definirea transformatei fereastră poartă

3.5.1 Definirea sistemului de referinţă de observare

Sistemul de referinţă de observare se defineşte prin următorii parametri specificaţi în sistemul de referinţă universal:

- punctul de observare VRP (View Reference Point)
- direcţia normală la planul vizualizare $\overrightarrow{VPN}$ (View Plane Normal)
- un vector a cărui proiecţie în planul de proiecţie determină sensul de prezentare a imaginii $\overrightarrow{VUP}$ (view up vector), care nu poate fi paralel cu $\overrightarrow{VPN}$.

Punctul VRP împreună cu vectorii $\overrightarrow{VPN}$ şi $\overrightarrow{VUP}$ devin sistemul de observare ca un sistem drept cu axele notate U,V,N. Axa N este dată de vectorul $\overrightarrow{VPN}$, normala la planul de vizualizare, iar UV este un plan paralel cu planul de vizualizare (fig.1).

Direcţia de observare este orientată în sensul negativ al vectorului $\overrightarrow{VPN}$.
În planul de vizualizare se defineşte fereastra de vizualizare, care este un dreptunghi cu laturile paralele cu axele u şi v ale unui sistem de referinţă bidimensional definit în acest plan. (Originea acestui sistem este proiecţia punctului *VRP* în planul de vizualizare).

3.5.2 Definirea transformatei de vizualizare

Se specifică următorii parametri de definire a sistemului de referinţă normalizat NCS, în raport cu sistemul de referinţă de observare VCS:

- tipul proiecţiei (paralelă sau perspectivă)
- centrul de proiecţie PRP (Projection Reference Point)
- distanţa VPD (view plane distance) a planului de vizualizare faţă de originea sistemului VCS (VRP)
- distanţa planului apropiat (near) şi a planului depărtat faţă de originea sistemului VCS (adică VRP)
- limitele ferestrei de vizualizare, u_{min}, u_{max}, v_{min}, v_{max}

Volumul de vizualizare este definit prin două plane paralele cu planul de vizualizare (planul apropiat şi planul depărtat) şi planele care trec prin centrul de proiecţie PRP şi laturile ferestrei.

În funcţie de poziţionarea centrului de proiecţie PRP faţă de fereastra de vizualizare avem următoarele două cazuri:

- proiecţie perspectivă normală (linia care uneşte CP cu centrul ferestrei este perpendicular pe planul de vizualizare) fig.2a
- proiecţie perspectivă oblică (linia care uneşte CP cu centrul ferestrei nu este perpendicular pe planul de vizualizare) fig. 2b

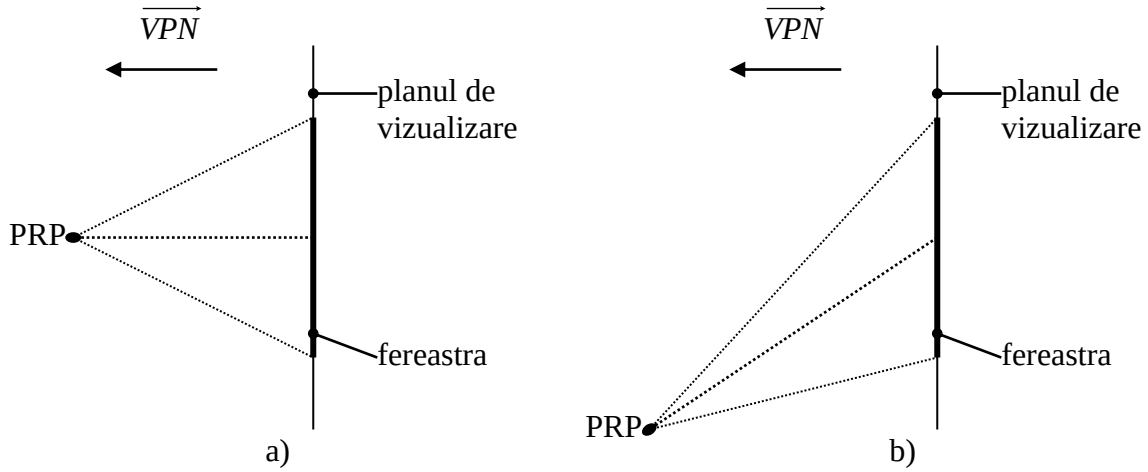


Fig.2 a) Proiecţia normală; b) Proiecţia oblică

Implementarea sistemului PHIGS se face prin transformări geometrice succesive.
Prima transformare este schimbarea din sistemul de referinţă de observare VCS (care are axele u,v,n) într-un sistem de referinţă notat Oxyz, cu centrul în centrul de proiecţie (acest

sistem este sistemul universal). Această transformare se efectuează printr-o translaţie inversă celei definite de vectorul de poziţie al punctului PRP, deci matricea de transformare $T(-t_{PRPu},-t_{PRPv},-t_{PRPn})$ (1)

În urma acestei transformări se modifică valorile corespunzătoare lui VPD, near, far, u_{min}, u_{max}, v_{min}, v_{max}. Notăm cu d, n, f, x_{min}, x_{max}, y_{min}, y_{max} valorile rezulate după translaţie.

Matricea transformării de normalizare, pornind din acest sistem Oxyz (cu O în CP) se poate descompune în trei matrici:

$$M_N = M_{N2} * M_{N1} * M_{N0} \qquad (2)$$

M_{N2}, M_{N1} – au fost deduse anterior (cazul proiecţiei perspectivă normală)

M_{N0} – este o transformare de forfecare, astfel încât linia centrală a volumului de vizualizare să devină perpendiculară pe planul de proiecţie (adică să devină axa z a sistemului), fără a modifica coordonatele după axa z şi dimensiunea ferestrei

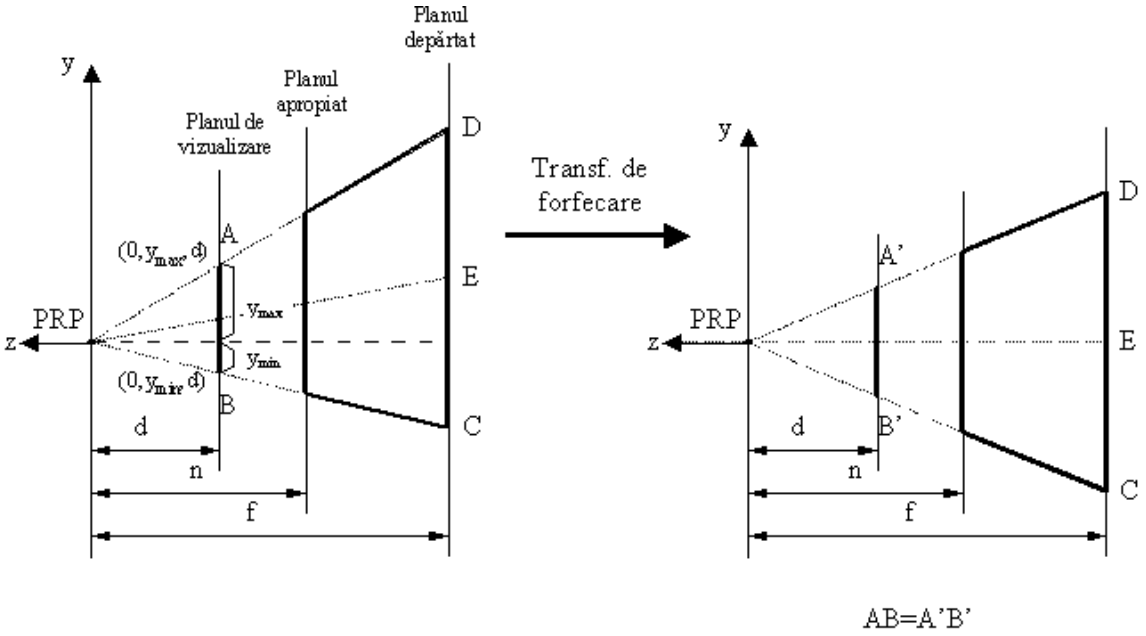
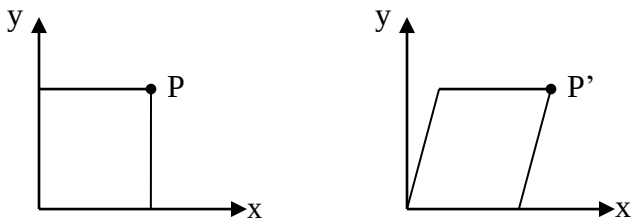


Fig.3 Transformarea de forfecare în sistemul de vizualizare standard

Transformarea de forfecare - duce la deformarea obiectului

a) Cazul bidimensional

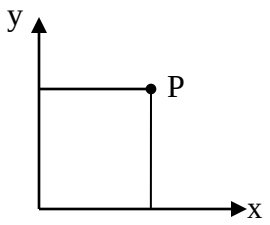
1) faţă de axa Ox (în lungul axei Ox) $P' = F_{Ox} * P$

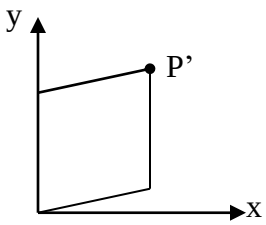


$$\begin{cases} x' = x + F_x * y \\ y' = y \end{cases} \Rightarrow \quad F_{Ox} = \begin{bmatrix} 1 & F_x & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad (1)$$

F_x – factor de forfecare

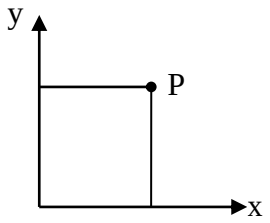
2) faţă de axa Oy (în lungul axei Oy)

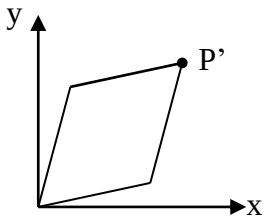




$$\begin{cases} x' = x \\ y' = y + F_y * x \end{cases} \Rightarrow \quad F_{Oy} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ F_y & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad (2)$$

3) ambele axe (în lungul unei direcţii oarecare)





$$\begin{cases} x' = x + F_x * y \\ y' = y + F_y * x \end{cases} \Rightarrow \quad F_{Oy} = \begin{bmatrix} 1 & F_x & 0 \\ F_y & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad (3)$$

b) <u>Cazul tridimensional</u> (forfecarea după o direcţie oarecare)

$$\begin{cases} x' = x + F_{xy} * y + F_{xz} * z \\ y' = y + F_{yx} * x + F_{yz} * z \\ z' = z + F_{zx} * x + F_{xz} * y \end{cases} \Rightarrow \quad \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & F_{xy} & F_{xz} & 0 \\ F_{yx} & 1 & F_{yz} & 0 \\ F_{zx} & F_{zy} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \qquad (4)$$

$$F = \begin{bmatrix} 1 & F_{xy} & F_{xz} & 0 \\ F_{yx} & 1 & F_{yz} & 0 \\ F_{zx} & F_{zy} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad (5)$$

F – matricea de forfecare după o direcţie oarecare

Ţinând cont de condiţiile impuse, matricea de forfecare trebuie să aibă numai F_{xz} şi F_{yz} diferite de zero $\Rightarrow$

$$\begin{cases} x' = x + F_{xz} * z \\ y' = y + F_{yz} * z \\ z' = z \end{cases} \qquad (6) \qquad \Rightarrow \qquad F = \begin{bmatrix} 1 & 0 & F_{xz} & 0 \\ 0 & 1 & F_{yz} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad (7)$$

F_{xz} şi F_{yz} se pot determina în felul următor:

$$A(0, y_{max}, d) \rightarrow A'(x_{A'}, y_{A'}, d)$$

De exemplu, pentru $y_{max} \longrightarrow \frac{y_{max} - y_{min}}{2}$

Înlocuind în (6) $\Rightarrow$

$$\frac{y_{max} - y_{min}}{2} = y_{max} + F_{yz} * d \qquad \Rightarrow \qquad F_{yz} = -\frac{y_{max} + y_{min}}{2d} \qquad (8)$$

În mod anlog se obţine formula pentru coordonata x:

$$F_{xz} = -\frac{x_{max} + x_{min}}{2d} \qquad (9)$$

Rezultă că în cazul unui punct oarecare obţinut în urma forfecării putem scrie:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\frac{x_{max} + x_{min}}{2d} & 0 \\ 0 & 1 & -\frac{y_{max} + y_{min}}{2d} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \qquad (10)$$

deci matricea M_{N0} este:

$$M_{N0} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\frac{x_{max} + x_{min}}{2d} & 0 \\ 0 & 1 & -\frac{y_{max} + y_{min}}{2d} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad (11)$$

Această matrice efectuează o simetrizare a volumului de vizualizare. De exemplu, în cazul punctelor A şi B (intersecţiilor muchiilor orizontale ale ferestrei cu planul x=0) coordonatele se transformă astfel:

$$M_{N0} * A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\frac{x_{max}+x_{min}}{2d} & 0 \\ 0 & 1 & -\frac{y_{max}+y_{min}}{2d} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 \\ y_{max} \\ d \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{x_{max}+x_{min}}{2} \\ \frac{y_{max}-y_{min}}{2} \\ d \\ 1 \end{bmatrix}$$

Obs: Matricea M_{N1} – este o transformare de scalare prin care volumul de vizualizare este transformat într-unul simetric cu unghiul la vârful piramidei de 90^0.

$$M_{N1} = \begin{bmatrix} \frac{2d}{x_{max}-x_{min}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{2d}{y_{max}-y_{min}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad (12)$$

Ultima componentă a transformării de normalizare transformă volumul de vizualizare în volumul canonic (paralelipiped dreptunghic). Această matrice este cea dedusă în paragraful precedent cu deosebirea că planul apropiat nu mai coincide cu planul de vizualizare (se va lua în loc de d $\leftrightarrow$ n).

$$M_{N2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{f+n}{f-n} & \frac{-2nf}{f-n} \\ 0 & 0 & \pm 1 & 0 \end{bmatrix} \qquad (13)$$

$$pt.z_v \in [n, f] \rightarrow [-1,1]$$

Matricea de normalizare M_N este: $M_{N0} = M_{N2} * M_{N1} * M_{N0} \quad \Rightarrow$

$$M_N = \begin{bmatrix} \frac{2d}{x_{max}-x_{min}} & 0 & -\frac{x_{max}+x_{min}}{2d} & 0 \\ 0 & \frac{2d}{y_{max}-y_{min}} & -\frac{y_{max}+y_{min}}{2d} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{f+n}{f-n} & \frac{-2nf}{f-n} \\ 0 & 0 & \pm 1 & 0 \end{bmatrix} \qquad (14)$$

Obs: Metrizarea a se face după M_{N1} ($M_{N1}*M_{N0}=M_{N0}*M_{N1}$)

În OpenGL se consideră că planul apropiat este şi planul de vizualizare, deci n=d $\Rightarrow$

$$M_N = \begin{bmatrix} \frac{2d}{x_{max} - x_{min}} & 0 & \frac{x_{max} + x_{min}}{x_{max} - x_{min}} & 0 \\ 0 & \frac{2d}{y_{max} - y_{min}} & \frac{y_{max} + y_{min}}{y_{max} - y_{min}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{f+n}{f-n} & \frac{-2nf}{f-n} \\ 0 & 0 & \pm 1 & 0 \end{bmatrix} \qquad (15)$$

3.6 Sistemul de referinţă ecran 3D

Transformarea în sistemul de referinţă ecran 3D efectuează o corespondenţă între fereastra din planul de vizualizare şi zona de afişare alocată pe display numită poartă de afişare (viewport).

Fereastra de vizualizare este definită într-un sistem de referinţă bidimensional în planul $z_N=0$ al sistemului de referinţă normalizat. Poarta de afişare este definită într-un sistem de referinţă bidimensional în planul $z_S=0$ al sistemului ecran 3D (fig.4).

Obs: Transformarea din sistemul de referinţă NCS $\rightarrow$ ecran 3D lasă coordonatele 2D nemodificate.

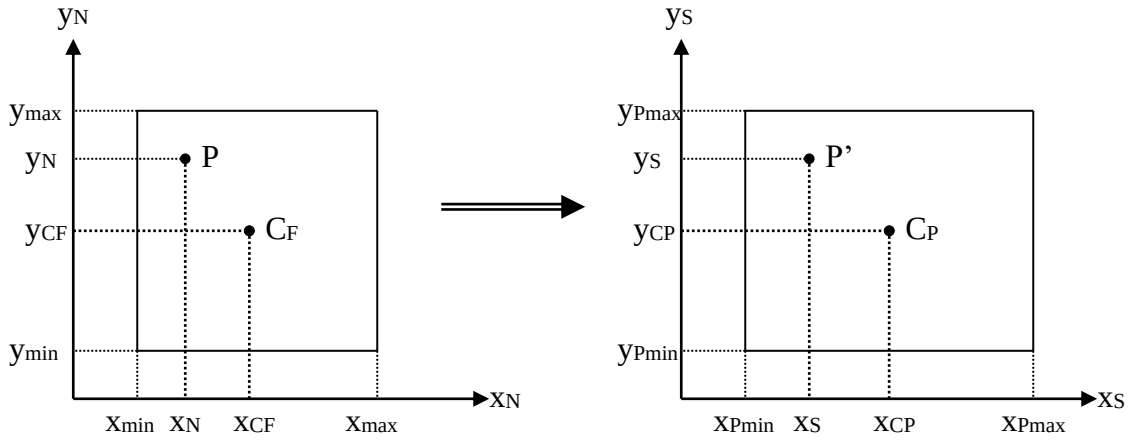


Fig.4 Transformarea fereastră-poartă

$$\begin{cases} x_{CF} = \frac{x_{max} + x_{min}}{2} \\ y_{CF} = \frac{y_{max} + y_{min}}{2} \end{cases} \qquad \begin{cases} x_{CP} = \frac{x_{P\,max} + x_{P\,min}}{2} \\ y_{CP} = \frac{y_{P\,max} + y_{P\,min}}{2} \end{cases} \qquad (16)$$

La fel ca în cazul tratat la transformarea fereastră-poartă din 2D $\Rightarrow$

$$\frac{x_S - x_{CP}}{x_N - x_{CF}} = \frac{x_{P\max} - x_{P\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \equiv s_x$$
$$\frac{y_S - y_{CP}}{y_N - y_{CF}} = \frac{y_{P\max} - y_{P\min}}{y_{\max} - y_{\min}} \equiv s_y \qquad (17)$$
$$s_z = 1$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_S = s_X * x_N + x_{CP} - s_X * x_{CF} \\ y_S = s_y * y_N + y_{CP} - s_y * y_{CF} \\ z_S = z_N \end{cases} \qquad (18)$$

Rezultă că matricea de transformare din sitemul normalizat în sistemul de ecran 3D:

$$M_{NS} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 & x_{CP} - s_X * x_{CF} \\ 0 & s_y & 0 & y_{CP} - s_y * y_{CF} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad (19)$$

Folosind coordonatele omogene în ambele sisteme (NCS şi ecran 3D)

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \\ W_S \end{bmatrix} = M_{NS} * \begin{bmatrix} X_N \\ Y_N \\ Z_N \\ W_N \end{bmatrix} \qquad (20)$$

Din aceste relaţii $\Rightarrow$ $Z_S=Z_N$ şi $W_S=W_N$ (Până în acest moment nu s-a făcut împărţirea cu W_N). În sistemul de referinţă ecran 3D se trece de la coordonatele omogene X_S, Y_S, Z_S, W_S la coordonatele tridimensionale x_S, y_S, z_S prin împărţire cu w_S.

Planul $z_S=0$ din sistemul ecran 3D este planul de proiecţie. Coordonatele x_S şi y_S reprezintă coordonatele proiecţiei ortografice în planul $z_S=0$, care este planul porţii de afişare.

Transformarea de proiecţie perspectivă din sistemul de referinţă de observare VCS a devenit transformare de proiecţie ortografică în sistemul de referinţă ecran 3D. Coordonata z_S este utilizată în algoritmii de eliminare a suprafeţelor ascunse. Volumul de vizualizare în sistemul ecran 3D este un paralelipiped dreptunghic cu baza un dreptunghi cu dimensiunile porţii afişate şi înălţimea egală cu 1, $z_S \in [0,1]$.

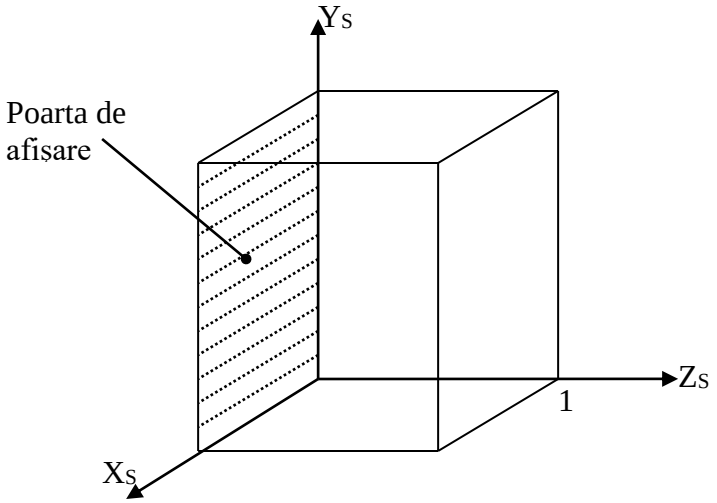
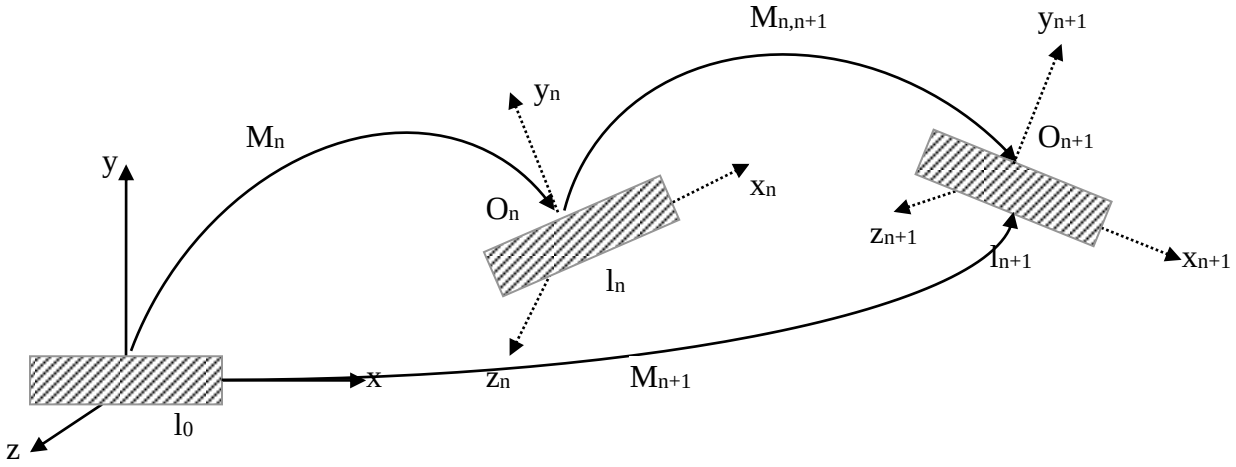


Fig.5 Volumul de vizualizare în sistem de referinţă ecran 3D

Completare (pentru laborator)

Adăugarea de noi obiecte, a căror mişcare trebuie descrisă în raport de un obiect precedent (exemplu la un braţ de robot).

Presupunem că s-a adăugat elementul l_n şi se doreşte adăugarea elementului l_{n+1} care se va mişca faţă de l_n.



Transformarea faţă de WCS: $M_{n+1}=M_n*M_{n,n+1}$

Deci se va proceda astfel:

1) La adăugarea elementului l_n se va memora (**glPushMatrix**) matricea transformării M_n (fără a fi inclusă scalarea).
2) Se va reface M_n şi se va poziţiona elementul l_{n+1} relativ la sistemul de coordonate al lui l_n (eventual se va memora matricea M_{n+1}, pentru adăugarea ulterioară a altui element).